

ANTENA KUPU - KUPU SEBAGAI SENSOR ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) UNTUK MENDETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA GAS INSULATION SUBSTATION

Hanalde Andre^[1], Umar Khayam^[2]

Program double degree kerjasama UNAND – ITB^[1]
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB^[2]

Abstract-*The use of antennas as receiving electromagnetic waves can be used as a tool for the detection of partial discharge (PD) that occurs in high voltage equipment. Especially in the insulation gas substation (GIS), the characteristics of the electromagnetic waves generated lies in the range of ultra high frequency (UHF) in the range of 300 MHz - 3 GHz. Characteristics of the antenna ultra wide band (UWB) is required to detect PD in a wide range. Antenna design is done using a simulation with finite element method or finite element method (FEM). Characteristics of return loss (RL) to be considered in the design of the antenna to get better sensitivity. Antenna testing is done with vector network analyzer (VNA). Measurement and simulation results of the modified antennas showed a decrease in the value of RL.*

Abstrak - Penggunaan antenna sebagai penerima gelombang elektromagnetik dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi kegiatan partial discharge (PD) yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi. Khususnya pada gas insulation substation (GIS), karakteristik gelombang elektromagnetik yang dihasilkan terletak pada rentang ultra high frequency (UHF) dalam rentang 300 MHz – 3 GHz. Karakteristik antena ultra wide band (UWB) diperlukan untuk mendeteksi PD pada rentang yang lebar. Perancangan antena dilakukan menggunakan simulasi dengan metoda elemen hingga atau finite element method (FEM). Karakteristik return loss (RL) antena dipertimbangkan dalam perancangan untuk mendapatkan sensitivitas yang lebih baik. Pengujian antena dilakukan dengan vector network analyzer (VNA). Hasil pengukuran dan simulasi antena yang dimodifikasi menunjukkan penurunan nilai RL.

Keywords : Partial Discharge (PD), Antena, Ultra High Frequency (UHF), Gas Insulation Substation (GIS)

I. PENDAHULUAN

Perkembangan penggunaan antena tidak lagi terbatas sebagai pemancar atau penerima pada komunikasi nirkabel. Antena telah dapat digunakan sebagai bagian dari transduser untuk mendeteksi besaran fisis. Salah satu pemanfaatan antena sebagai transduser adalah untuk mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh partial discharge (PD). metoda ini telah dilakukan dan terbukti efektif untuk mendeteksi PD^[1-2].

PD merupakan lokal breakdown yang terjadi pada isolasi tegangan tinggi. Isolasi sulfur hexafluoride (SF₆) yang digunakan pada gas insulation substation (GIS) memiliki karakteristik pulsa dengan waktu naik (rise time)

dalam orde nano hingga piko detik. Hal ini menyebabkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dalam rentang ultra high frekuensi (UHF) yaitu 300 MHz – 3 GHz^[3].

Karakteristik antena ultrawideband (UWB) yang memiliki respon frekuensi dalam rentang lebar diharapkan dapat mendeteksi PD yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi, khususnya GIS. Sensitivitas antena juga perlu diperhatikan dengan mempertimbangkan nilai return loss (RL) antena^[4]. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang antena dengan karakteristik UWB dalam rentang UHF dengan nilai return loss minimum untuk dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik dari PD.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik PD pada GIS

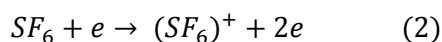
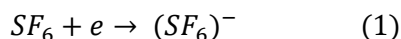
Sistem deteksi PD sangat bergantung pada media isolasi dan bentuk geometri dari peralatan tegangan tinggi, khusus dalam gelombang elektromagnetik yang dihasilkan.

a. Isolasi SF₆

Isolasi SF₆ yang digunakan pada GIS memiliki kekuatan dielektrik 2 sampai 3 kali dari kekuatan dielektrik udara pada tekanan atmosfer. Molekul SF₆ terbentuk dari atom belerang yang terdapat pada pusat dari struktur kimia molekul. Keuntungan dari material ini adalah karakteristik tranfer panas yang baik karena molekulnya yang lebih berat dengan kekentalan yang rendah dan sangat baik untuk meredam busur api karena sifat ikatan molekulnya yang menangkap elektron bebas.

Beberapa gas seperti nitrogen, hidrogen dan argon tidak membentuk ion negatif. Gas lain seperti oksigen dan karbondioksida cukup lemah untuk membentuk ion negatif. Kandungan flour pada SF₆ memiliki sifat elektronegatif (sifat mengikat elektron). Sifat tersebut sangat mempengaruhi karakteristik gas terhadap tegangan tinggi yang diterapkan.

Pada persamaan 1 dapat dilihat terbentuknya ion negatif hasil dari tabrakan elektron dengan molekul netral SF₆. Pada ionisasi seperti persamaan 2 tabrakan yang terjadi menghasilkan semakin meningkatnya jumlah elektron^[5].



Tingkat ionisasi bergantung pada laju dari pengikatan elektron dengan menggunakan parameter (α) dan laju dari pelepasan elektron (ionisasi) yang diketahui dengan menggunakan parameter (η). Dalam temperatur konstan frekuensi (f) dari tumbukan sebanding medan listrik (E) dibagi dengan tekanan gas (p). Hubungannya dapat dilihat pada persamaan 3.

$$\frac{\alpha}{p} = f_1 \cdot \left(\frac{E}{p}\right) ; \frac{\eta}{p} = f_2 \cdot \left(\frac{E}{p}\right) \quad (3)$$

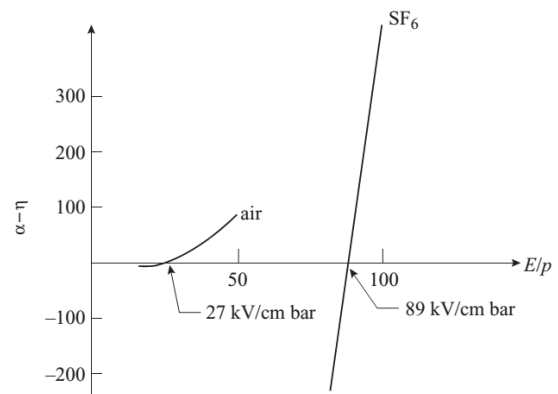
Hasil akhir ionisasi bergantung pada keseimbangan antara pelepasan dan pengikatan elektron. Jika pengikatan lebih besar dari

pelepasan ($\eta > \alpha$) maka kemungkinan tidak ada peluahan. Jika pelepasan lebih besar ($\alpha > \eta$) maka ionisasi terjadi.

SF₆ memiliki medan listrik kritis sekitar 89 KV/ cm bar dibandingkan dengan udara hanya ~ 27 KV/cm bar seperti yang terlihat pada gambar 1. Koefisien ionisasi dalam SF₆ dapat dituliskan dalam persamaan 4^[5].

$$\frac{\alpha - \eta}{p} = A \cdot \left(\frac{E}{p}\right) - B \quad (4)$$

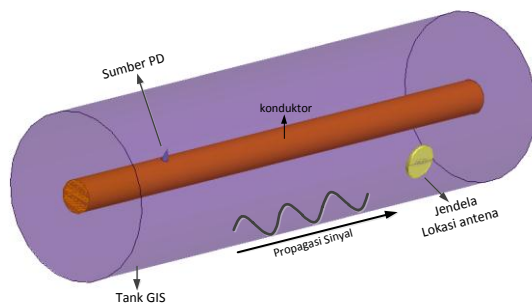
Dimana A = 27.7 KV⁻¹ dan B = 2460 bar⁻¹.cm⁻¹. Sehingga kuat medan listrik berkurang menjadi 88.8 KV / cm.bar. Hubungan sederhana ini sangat berguna untuk menghitung tegangan yang digunakan pada isolasi SF₆. Koefisien efektif udara dan SF₆ dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Koefisien ionisasi efektif udara dan SF₆

b. Transmisi Sinyal elektromagnetik pada GIS

PD menghasilkan pulsa arus dalam orde nanodetik. Terbentuknya pulsa arus diikuti dengan perubahan medan listrik. Jika perubahan ini terjadi secara kontinu maka akan terbentuk gelombang elektromagnetik yang merambat ke segala arah. Perambatan (propagasi) gelombang elektromagnetik sangat dipengaruhi oleh media rambat dan bentuk geometri lingkungan sekitar. Pada GIS propagasi gelombang elektromagnetik dapat dimodelkan seperti kabel koaksial. Pada gambar 2 dapat dilihat skema gelombang elektromagnetik pada GIS.



Gambar 2. Gelombang elektromagnetik pada GIS

Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan PD pada GIS normalnya terjadi pada pecahan kecil dari jarak antara dua konduktor [6]. Pada eksperimen yang telah banyak dilakukan menggunakan jarum yang diletakan pada konduktor GIS. Pulsa PD yang dihasilkan dapat menyebabkan timbulnya gelombang elektromagnetik.

Bentuk pulsa arus $i(t)$ pada sumber PD sangat penting untuk menentukan karakteristik dari sinyal UHF. Cacat yang terjadi pada isolasi atau konduktor pada GIS mempengaruhi bentuk dari pulsa arus tersebut. Energi yang diradiasikan dalam rentang UHF sangat bergantung pada laju dari perubahan arus PD. dapat disimpulkan untuk bentuk pulsa yang didapatkan amplitudo sinyal UHF memiliki hubungan linear terhadap arus yang mengalir pada sumber PD.



Gambar 3. Bentuk GIS

Untuk kerusakan kecil, amplitudo sinyal proporsional dengan hasil dari perkalian muatan yang terkandung pada sumber PD dengan jarak muatan tersebut mengalir ketika bentuk pulsa tetap [7]. Posisi dari sumber PD juga mempengaruhi sinyal UHF yang dihasilkan. Hal ini disebabkan koefisien kopling dari jalur gelombang yang berbeda untuk setiap bagian

dari GIS. Pada gambar 3 dapat dilihat bentuk GIS.

Komponen frekuensi tinggi merambat sepanjang jalur koaksial dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya (c) dengan media udara. Propagasi gelombang pada media lain memiliki kecepatan yang berbeda tergantung pada nilai permitifitas relatif (ϵ_r), hubungan kecepatan propagasi (v) dapat dilihat pada persamaan 5.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

Waktu relatif kemunculan sinyal PD dapat digunakan untuk mengetahui letak dari kerusakan terjadi. Berbagai bentuk komponen dalam GIS mempengaruhi karakteristik propagasi dari pulsa PD. Model umum propagasi yang digunakan pada jalur koaksial adalah *transverse electromagnetic* (TEM). Model ini dapat menggambarkan propagasi semua komponen frekuensi yang terjadi pada GIS. Pulsa dalam TEM merambat lebih cepat dari model *transverse electric* (TE) dan *transverse magnetic* (TM). Dalam model ini kecepatan tidak bergantung pada frekuensi [3].

2.2. Karakteristik Antena

Antena didefinisikan sebagai bagian dalam sistem transmisi atau penerima yang dirancang untuk meradiasikan atau menerima gelombang elektromagnetik. Definisi ini sesuai dengan standar definisi untuk antena yang dikeluarkan oleh IEEE [8]. Berdasarkan fungsinya antena dibedakan menjadi antena pemancar dan antena penerima. Hubungan antena dengan panjang gelombang elektromagnetik (λ) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan hasil bagi kecepatan (asumsi kecepatan cahaya) dengan frekuensi (f) dari gelombang elektromagnetik.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6)$$

Rentang frekuensi gelombang elektromagnetik dibagi kedalam beberapa kelompok. Standar amerika yang dikeluarkan IEEE membagi rentang frekuensi gelombang elektromagnetik seperti yang dapat dilihat pada tabel 1 [9].

Tabel 1. Pembagian rentang frekuensi (IEEE)

Subdivisi Frekuensi	Rentang Frekuensi
ELF (extremely low)	30 Hz–300 Hz
VF (voice)	300 Hz–3 kHz
VLF (very low)	3 kHz–30 kHz
LF (low)	30 kHz– 300kHz
MF (medium)	300 kHz – 3MHz
HF (high)	3 MHz–30MHz
VHF (very high)	30 MHz–300MHz
UHF (ultra high)	300 MHz – 3 GHz
SHF (super high)	3 GHz – 30 GHz
EHF (extremely high)	30 GHz – 300 GHz
(Undesignated)	300 GHz – 3 THz

Dalam rentang UHF panjang gelombang elektromagnetik memiliki rentang dari 100 cm (frekuensi 300 MHz) hingga 10 cm (3 GHz). Maka dalam perancangan dimensi suatu antenna akan mengacu pada besaran tersebut.

Ketika suatu antenna terhubung dalam suatu sistem, maka antenna tersebut memiliki impedansi sendiri. Dalam sistem gelombang elektromagnetik gelombang pantul menjadi masalah yang harus diperhitungkan. Ketidaksesuaian impedansi antenna dengan jalur transmisi menyebabkan meningkatnya sinyal yang dipantulkan. Hal tersebut akan meningkatkan rugi-rugi yang menyebabkan sistem tidak berjalan dengan baik.

Parameter antenna yang perlu diperhatikan dalam merancang antenna yang digunakan sebagai sensor UHF dalam pengukuran PD adalah :

2.3. Return Loss

Parameter ini memiliki hubungan dengan daya sinyal yang dipantulkan pada sambungan sistem transmisi. Sambungan dapat menyebabkan ketidaksesuaian anatara sistem dengan perangkat yang dihubungkan. Parameter ini umumnya dinyatakan sebagai perbandingan dalam satuan desibel (dB) dalam tanda negatif. Hubungan return loss (RL) dengan daya yang

dipantulkan (P_r) dan daya yang datang (P_i) dapat dilihat pada persamaan 7.

$$RL (dB) = 10 \log_{10} \frac{P_r}{P_i} \quad (7)$$

Return loss memiliki hubungan dengan standing wave ratio (SWR) dan koefisien refleksi. Peningkatan return loss menyebabkan menurunnya nilai SWR. Dalam aplikasi modern, return loss digunakan sebagai acuan untuk SWR karena mempunyai resolusi yang lebih baik untuk nilai kecil dari sinyal yang dipantulkan [54]. Return loss dapat dinyatakan sebagai negatif dari magnitude koefisien refleksi (Γ). Daya yang dinyatakan dalam return loss dapat dinyatakan sebagai kuadrat dari tegangan yang dinyatakan koefisien refleksi. Hubungan koefisien refleksi dengan return loss dapat dilihat pada persamaan 8 dan 9.

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (8)$$

$$RL (dB) = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (9)$$

2.4. Standing Wave Ratio (SWR)

SWR dapat dinyatakan dalam voltage standing wave ratio (VSWR) atau power standing wave ratio (PSWR). Tegangan memiliki hubungan dengan daya, dimana daya merupakan kuadrat tegangan. Umumnya yang banyak digunakan dalam aplikasi adalah VSWR.

Tegangan yang timbul akibat adanya ketidaksesuaian impedansi disebabkan pengaruh dari tegangan yang datang dan tegangan yang dipantulkan. Di beberapa bagian kedua gelombang tersebut saling mengganggu. VSWR merupakan perbandingan dari nilai maksimum (V_{max}) dengan nilai minimum (V_{min}) yang terbentuk dari kedua gelombang tersebut. Dalam persamaan matematisnya dapat dilihat pada persamaan 10.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (10)$$

Rentang nilai koefisien refleksi adalah -1 hingga 1. Dalam hubungannya dengan VSWR rentangnya menjadi 0 hingga 1, sehingga rentang nilai VSWR lebih besar sama dengan 1. VSWR juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan dari amplitudo maksimum terhadap amplitudo minimum dari kuat medan elektrik (E_{max} / E_{min}).

2.5. Impedansi Input

Input impedansi didefinisikan sebagai impedansi yang dihasilkan antenna pada terminal atau perbandingan antara tegangan dan arus pada pasangan terminal atau ratio yang sesuai dari komponen medan listrik dan komponen medan magnetik pada suatu titik. Impedansi antenna (Z_A) terdiri dari komponen real (R_A) dan komponen imajiner (X_A) seperti pada persamaan 11 [b10].

$$Z_A = R_A + X_A \quad (11)$$

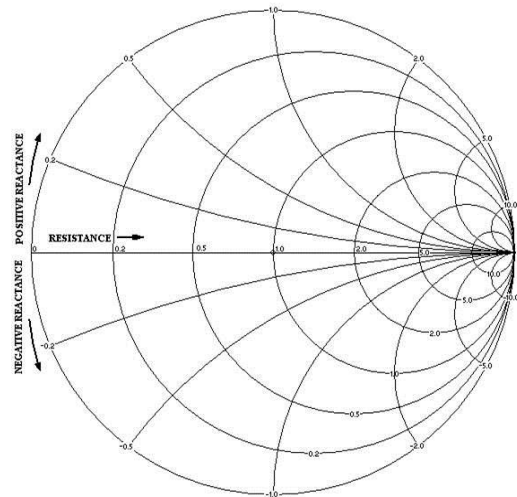
Komponen real dari impedansi antenna merupakan komponen resistif sedangkan komponen imajiner merupakan komponen reaktif. Impedansi antenna merupakan fungsi dari komponen frekuensi. Nilainya bergantung pada frekuensi kerja antenna. Frekuensi resonansi terjadi ketika komponen reaktif saling meniadakan [s1]. Nilai impedansi mempengaruhi kesesuaian impedansi antara antenna dengan saluran yang digunakan. Komponen reaktif terdiri dari komponen induktansi yang bernilai positif dan komponen kapasitansi yang bernilai negatif.

Smith chart

Diagram ini diperkenalkan oleh Philip H. smith (1905-1987). Diagram ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam jalur transmisi dan kesesuaian rangkaian dalam frekuensi radio. Bentuk tampilan smith chart dapat dilihat pada gambar 4. Dalam diagram ini dapat ditampilkan berbagai parameter seperti impedansi, admintansi, koefisien refleksi.

Smith chart menggunakan skala normalisasi dari karakteristik impedansi. Nilai karakteristik impedansi (Z_0) yang umum dipakai adalah 50 ohm. Komponen reaktansi dan resistansi disesuaikan dengan hasil dari koefisien refleksinya. Impedansi normalisasi suatu perangkat (z_t) terhadap impedansi sebenarnya (Z_T) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12.

$$z_t = \frac{Z_T}{Z_0} \quad (12)$$



Gambar 4. Bentuk tampilan smith chart

Bandwith

Suatu antenna didefinisikan sebagai selisih batas frekuensi dalam kinerja suatu perangkat, berhubungan dengan karakteristiknya dalam batas tertentu^[9]. Umumnya yang digunakan adalah karakteristik nilai RL dari antenna. Perhitungan bandwith dapat dilihat seperti persamaan 13.

$$Bandwith = \frac{f_u + f_l}{f_c} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana f_u merupakan frekuensi tertinggi, f_l adalah frekuensi terendah dan f_c merupakan frekuensi tengah. Standar bandwith yang banyak digunakan adalah nilai RL dibawah -10 dB. hal tersebut menunjukkan daya sinyal yang diterima atau dipancarkan antenna mencapai 90% dari daya yang datang.

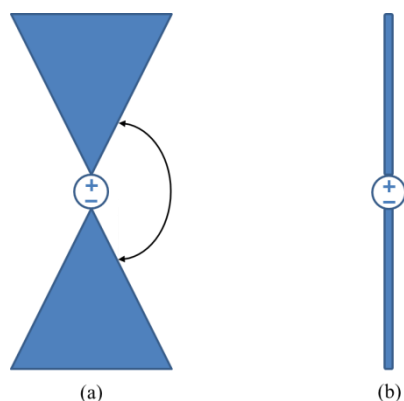
III. METODOLOGI ATAU TEORI

Perancangan antenna dilakukan dengan menggunakan software simulasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan metoda elemen hingga atau finite element method (FEM). Jenis antenna yang dirancang merupakan antenna kupu – kupu biasa disebut bowtie atau butterfly.

1. Antena Kupu - kupu

Antena bowtie atau disebut juga antenna butterfly merupakan antenna yang dirancang untuk rentang frekuensi lebar. Bentuk ini merupakan pendekatan antenna kawat dipole dalam dua dimensi. Pada gambar 5 dapat dilihat

bentuk antenna bowtie dan antenna kawat dipole^[10].



Gambar 5. Bentuk Antena kupu - kupu dan kawat dipole

(a) Antena kupu - kupu, (b) Antena kawat dipole

Antena kawat dipole dirancang dengan menggunakan ukuran sesuai dengan setengah panjang gelombang frekuensi yang diinginkan. Karakteristik antena ini memiliki rentang frekuensi kecil. Keterbatasan respon frekuensi yang dimiliki oleh antena dipole kawat ditambahkan pada antena bowtie. Bidang antena yang memiliki sudut menyebabkan respon frekuensi yang lebih lebar dibandingkan antena kawat dipole.

Antena bowtie yang memiliki respon frekuensi dalam rentang lebar atau yang disebut ultrawideband (UWB) telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Antena ini ditempatkan pada suatu material yang disebut substrat. Material PCB banyak digunakan untuk aplikasi antena ini

2. Finite Element Method (FEM)

Permasalahan elektromagnetik seperti radiasi, propagasi gelombang dan lainnya tidak mungkin diselesaikan secara analitis. Komputasi dengan menggunakan metoda numerik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks mengenai gelombang elektromagnetik. Cara ini sangat penting dalam perancangan dan pemodelan antena. Beberapa metoda yang digunakan dalam perancangan dan pemodelan antena adalah MoM (*moment of method*), FDTD (*finite difference time domain*) dan FEM (*finite element method*).

Komputasi elektromagnetik atau dengan istilah *computational electromagnetics* (CEM)

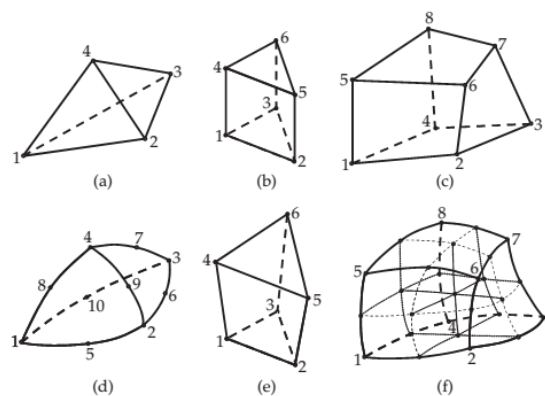
umumnya menyelesaikan masalah dari komputasi medan elektir (E) dan medan magnetik (H) dalam domain tertentu. Inti dari CEM adalah mengenai diskritisasi, yaitu membagi permasalahan menjadi bagian – bagian kecil kemudian menggabungkan untuk mendapatkan hasil keseluruhan. Beberapa permasalahan yang ingin diselesaikan adalah^[11].

- Medan listrik menggunakan FEM
- Medan listrik dan medan magnetik menggunakan FDTD
- Arus permukaan menggunakan MoM

Tabel 2. Perbandingan metoda komputasi elektromagnetik

Metoda	Kelebihan	Kekurangan
FEM	Komputasi lebih cepat, sesuai untuk struktur geometri kecil	Tidak sesuai dengan struktur geometri besar
FDTD	Sesuai untuk struktur geometri besar dan kecil	Membutuhkan memori dan waktu lama untuk komputasi
MoM	Sesuai dengan struktur geometri besar	Tidak sesuai untuk struktur geometri kecil dan komputasi lebih lama dibandingkan FEM

Setiap metoda memiliki kelenihan dan kekurangan yang harus diketahui untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Pada tabel 2 dapat dilihat kelebihan dan kekurangan dari masing – masing metoda.



Gambar 6. Elemen hingga 3D^[12]

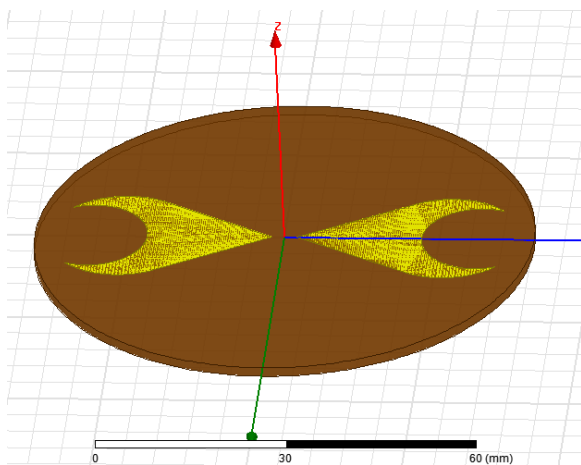
(a) Tetrahedral, (b) Prisma triangular, (c) Hexahedral trilinear, (d) Tetrahedral melengkung, (e) Prisma terdistorsi, (f) Triquadratic

Pada gambar 6 dapat dilihat bentuk dari elemen hingga yang digunakan dalam komputasi elektromagnetik. Salah satu program yang menggunakan metoda FEM dalam menyelesaikan masalah elektromagnetik adalah ansoft high frequency system simulator (HFSS). Program tersebut yang akan digunakan dalam perancangan antenna pada penelitian ini. Kelebihan program ini mengintegrasikan simulasi, visualisasi, pemodelan, dan otomatisasi yang mudah digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perancangan Antena

Antena kupu – kupu yang dirancang merupakan modifikasi dari bentuk antena normal. Simulasi menggunakan metode elemen hingga dengan bentuk elemen tetrahedron. Antena dirancang dengan menggunakan bahan substrat FR4 epoxy. Bahan ini banyak digunakan pada PCB sehingga mudah diimplementasikan dan dengan biaya yang relatif murah. Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk dari model antena kupu – kupu yang dirancang.

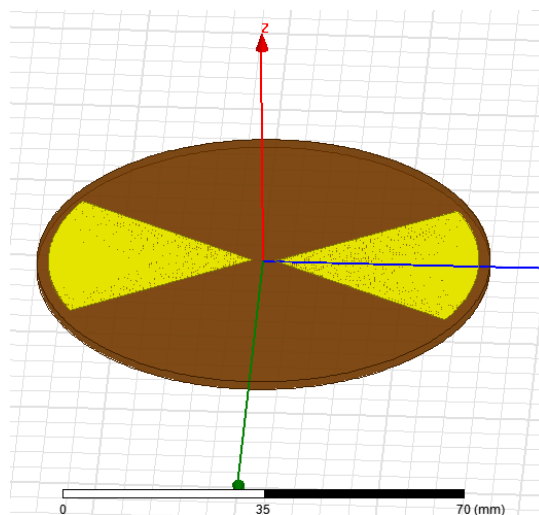


Gambar 7. Model antena kupu – kupu yang dirancang

Model antena dicetak diatas substrat berbentuk silinder dengan tebal 1.4 mm. bahan FR4 epoxy memiliki konstanta dielektrik relatif 4.4. Substrat memiliki diameter 80 mm. Luas permukaan antena menjadi 638 mm² berkurang dari bentuk awal dengan luas 1102 mm². Bentuk optimum geometri antena bowtie didapatkan dengan

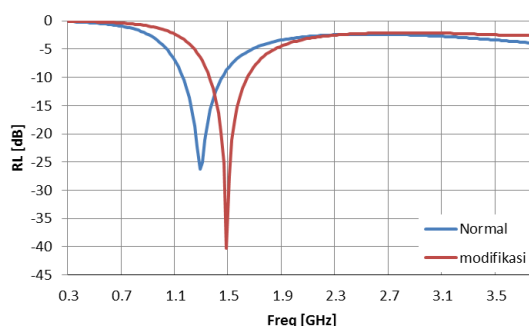
memperhatikan distribusi kerapatan arus pada permukaan antena.

Modifikasi antena dilakukan terhadap antena kupu – kupu normal seperti yang dapat dilihat pada gambar 8. Bentuk antena normal memiliki radius lengan 36 mm dengan sudut 60 derajat. Jarak antara dua lengan adalah 4 mm.



Gambar 8. Model antena kupu – kupu

Antena modifikasi memiliki nilai RL minimum sebesar -40.27 dB pada frekuensi 1.48 GHz, nilai ini lebih baik dari RL minimum antena kupu – kupu normal sebesar -26.24 dB pada frekuensi 1.28 GHz. Terjadi pergeseran frekuensi resonansi sebesar 200 MHz antara antena normal dengan antena yang telah dimodifikasi. Grafik perbandingan hasil simulasi antena kupu – kupu dengan antena yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada gambar 9.

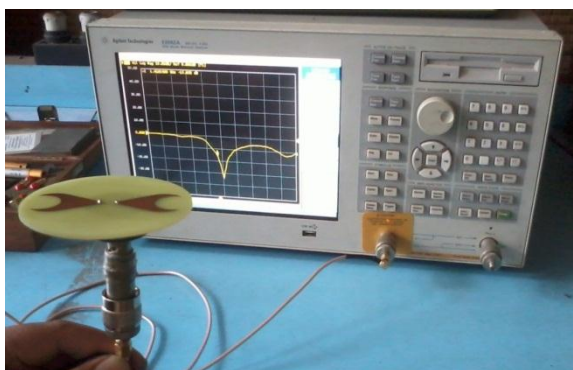


Gambar 9. Perbandingan hasil simulasi antena kupu – kupu normal dan modifikasi

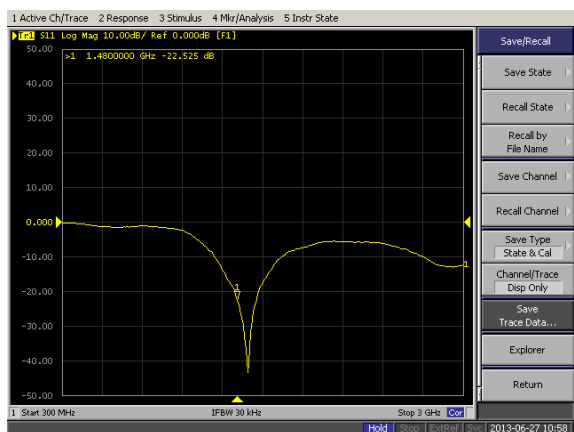
2. Pengukuran Antena dengan VNA

Antena kupu – kupu yang telah dimodifikasi diukur dengan menggunakan

vector network analyzer (VNA). Alat ukur yang digunakan adalah Agilent E5062 A dengan rentang frekuensi 300 KHz – 3 GHz. Pengukuran dilakukan dalam rentang frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) dengan menggunakan satu port.. Konektor antenna menggunakan BNC sedangkan konektor VNA menggunakan SMA, sehingga dibutuhkan sambungan untuk menghubungkan kedua konektor. Pada rentang tersebut terdapat 271 titik pengukuran dengan interval 10 MHz. Pada gambar 10 dapat dilihat rangkaian pengukuran antenna dengan menggunakan VNA.



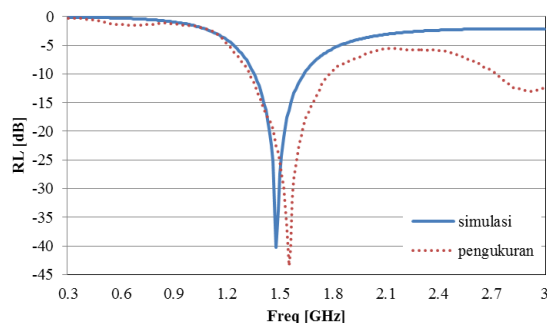
Gambar 10. Pengukuran Antena kupu – kupu modifikasi dengan VNA



Gambar 11. Tampilan pengukuran RL antena kupu – kupu modifikasi dengan VNA

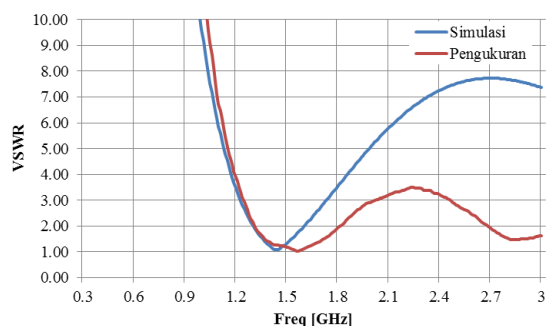
Pada VNA memiliki tampilan untuk dapat melihat karakteristik respon frekuensi dari antenna. bentuk tampilan pengukuran RL antena kupu – kupu yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada gambar 11. Sebelum pengukuran dilakukan kalibrasi terhadap kabel dengan impedansi karakteritik 50 ohm yang digunakan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.

Hasil pengukuran dengan menggunakan VNA memiliki hasil yang sedikit berbeda dengan hasil simulasi. Frekuensi resonansi hasil pengukuran terjadi pada 1.55 GHz dengan nilai RL sebesar -43.48 dB sedangkan hasil disimulasi terjadi pada frekuensi 1.48 GHz dengan nilai RL sebesar -40.27 dB.



Gambar 12. Perbandingan RL hasil pengukuran dengan simulasi antena kupu – kupu

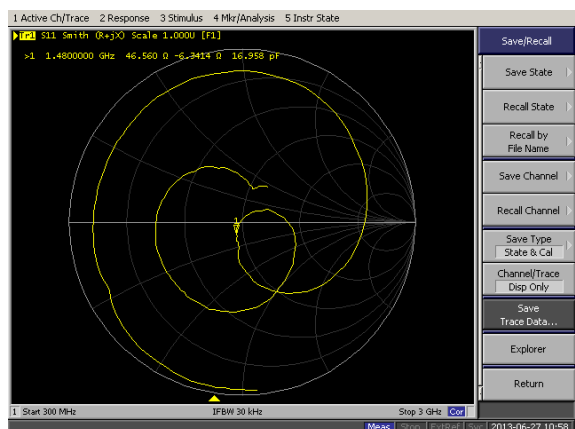
Dari hasil pengukuran didapatkan bandwidth antenna untuk nilai RL dibawah -10 dB adalah 454 MHz, berada pada rentang frekuensi 1.328 – 1.782 GHz sedangkan hasil simulasi didapatkan bandwidth 282 MHz, berada pada frekuensi 1.354 – 1.637 GHz. Untuk bandwidth dengan nilai RL dibawah -6 dB didapatkan bandwidth sebesar 793 MHz pada frekuensi 1.236 – 2.029 GHz dari hasil pengukuran sedangkan dari hasil simulasi didapatkan bandwidth 504 MHz pada frekuensi 1.271 – 1.775 GHz. Pada gambar 12 dapat dilihat perbandingan RL antena bowtie hasil simulasi dengan pengukuran.



Gambar 13. Perbandingan VSWR hasil pengukuran dengan simulasi antena kupu – kupu

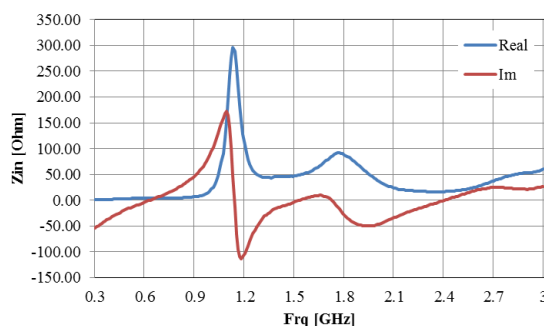
Hasil pengukuran VSWR yang didapatkan dengan menggunakan VNA memiliki persamaan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan. Pada gambar 13 dapat dilihat

perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran. Secara umum turunnya VSWR antara hasil simulasi dengan pengukuran terlihat sangat dekat. VSWR terendah yang didapatkan hasil simulasi adalah 1.07 pada frekuensi 1.44 GHz sedangkan dari hasil pengukuran adalah 1.01 pada frekuensi 1.56.



Gambar 14. Tampilan smith chart antenna kupu – kupu modifikasi pada VNA

Smith chart yang ditampilkan pada pengukuran dengan menggunakan VNA adalah impedansi input dari antenna. Komponen impedansi terdiri dari komponen real dan imajiner seperti yang dapat dilihat pada gambar 14. Hasil dari smith chart dapat dibuat dalam grafik impedansi yang terdiri dari komponen real dan imajiner seperti yang dapat dilihat pada gambar 15. Perubahan impedansi antenna ditentukan oleh karakteristik kerja antenna dengan saluran yang digunakan.



Gambar 15. Hasil pengukuran impedansi input antenna kupu – kupu modifikasi pada VNA

V. KESIMPULAN

Perancangan antenna yang telah dilakukan memiliki nilai RL yang lebih baik dari antenna

kupu – kupu normal. Dari hasil simulasi didapatkan nilai RL minimum untuk antenna yang telah dimodifikasi sebesar -40.27 dB pada frekuensi 1.48 GHz lebih baik dari nilai RL minimum yang didapatkan antenna normal sebesar -26.24 dB pada frekuensi 1.28 GHz.

Hasil pengukuran mendapatkan nilai RL minimum sebesar -43.48 dB pada frekuensi 1.55 GHz. Untuk bandwidth antenna dengan nilai RL dibawah -6 dB didapatkan sebesar 793 MHz pada frekuensi 1.236 – 2.029 GHz sedangkan bandwidth untuk nilai RL dibawah -10 dB adalah 454 MHz, berada pada rentang frekuensi 1.328 – 1.782 GHz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kaneko, S. Okabe, M. Yoshimura, H. Muto, C. Nishida, M. Kamei, *Detecting Characteristics of Various Type Antennas on Partial Discharge Electromagnetic Wave Radiating through Insulating Spacer in Gas Insulated Switchgear*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation vol. 16, issue. 5, pp.1462-1472, IEEE (2009)
- [2] T. Hoshino, S. Maruyama, S. Ohtsuka, M. Hikita, J. Wada, S. Okabe, *Sensitivity Comparison of Disc- and Loop-type Sensors using the UHF Method to Detect Partial Discharges in GIS*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation vol. 19, issue. 3, pp.1544-1552, IEEE (2012)
- [3] Yoshikazu Shibuya, Satoshi Matsumoto, Masayoshi Tanaka, Hirotaka Muto and Yoshiharu Kaneda, *Electromagnetic waves from partial discharges and their detection using patch antenna*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation vol. 17, issue. 3, pp.862-871, IEEE (2010)
- [4] G. Robles, M. Sánchez-Fernández, R. Albarracín Sánchez, M.V Rojas-Moreno, E. Rajo-Iglesias, J.M Martínez-Tarifa, *Antena parametrization for the detection of partial discharges*, IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. 62, no. 5, pp. 932-940, may 2013
- [5] O. Farish, M. D. JUDD, B. F. Hampton and J. S. Pearson, *SF6 insulation system and their monitoring*, *Advanced in High*

- Voltage Engineering*, chap. 2, IET Power and Energy Series 40, IET (2004)
- [6] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, *The excitation of UHF signals by partial discharges in GIS*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, Issue 2, pp.213-228, IEEE (1996)
 - [7] M.D. Judd, O. Farish, *Transfer functions for UHF partial discharge signals in GIS*, Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, Vol. 5, No. 467, IEEE (1999)
 - [8] IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, IEEE (1993)
 - [9] American National Standard Dictionary of Electromagnetic Compatibility (EMC) includ Electromagnetic Environmental Effects (E3), IEEE (2009)
 - [10] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 3rd edition, (2005)
 - [11] S. Fahad, A. Muhammad, *Simulation comparison between HFSS, CST and WIPL-D for design of dipole, horn and parabolic reflector antenna*, Advances in Computational Mathematics and its Applications (ACMA), Vol. 1, No. 4, pp. 203-207, 2012
 - [12] Frank Gross, *Frontiers in Antennas: Next Generation Design & Engineering*, New Technical, (2011)

Biodata Penulis

Hanalde Andre, menamatkan S1 di jurusan teknik elektro universitas andalas (UNAND) tahun 2011, saat ini sedang melanjutkan studi S2 sebagai mahasiswa double degree kerjasama UNAND – ITB dengan bidang teknik tenaga elektrik peminatan teknik tegangan tinggi

Umar Khayam, menamatkan S1 dan S2 di jurusan teknik elektro ITB pada tahun 1998 dan 2000, serta menyelesaikan pendidikan S3 di Kyushu Institute of Technology Jepang pada tahun 2008. Ia adalah dosen sekolah teknik elektro dan informatika ITB. Saat ini ia adalah Kepala Laboratorium Teknik Tegangan dan Arus Tinggi ITB. Ia dapat dikontak melalui email: umar@hv.ee.itb.ac.id.